

Topi Parviainen

# Sarfvikinkallion louhinnan tilavuudenmäärityksen oikeellisuus ja lähtöpisteet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

07.05.2015

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Topi Parviainen Sarfvikinkallion louhinnan tilavuudenmäärityksen oikeellisuus ja lähtöpisteet  29 sivua + 2 liitettä 07.05.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaaja	yliopettaja Vesa Rope
<p>Tämän insinöörityön aiheena on tarkastella louhinnan tilavuuksien määrityksen oikeellisuutta sekä lähtöpisteiden luotettavuutta.</p> <p>Louhinnan tilavuuksien oikeellisuutta tarkastellaan esimerkkitömaan osalta, jonka louhintojen tilavuudet on aiemmin määritetty. Määritettäessä näitä esimerkkitömaan louhinnan määriä pintamalleihin on jäänyt joitakin virheellisiä pisteitä, joiden etsiminen ja poistaminen aineistosta käydään yksityiskohtaisesti läpi. Lopuksi tilavuudet määritetään uudelleen ja arvioidaan esimerkkitömaan louhintalaskelmien oikeellisuutta ja onnistumista sekä esitellään tulokset eri laskentamenetelmiä käyttäen.</p> <p>Insinöörityössä esitellään myös louhinnan merkintään tarvittavia lähtötietoja ja suunnitelmapiirustuksia ja niiden käsittelyä merkintämittauksia varten. Lisäksi työssä esitellään louhintatyömaalla tarvittavaa kalustoa, mittausmenetelmiä sekä maastomittauksia.</p> <p>Insinöörityössä esitetään myös koordinaatistojen määrittäminen esimerkkitömaalle ja tarkastellaan näiden koordinaatistojen luotettavuutta keskenään.</p>	
Avainsanat	louhinta, tilavuus

Author Title	Topi Parviainen Reliability of and ground control points for rock excavation volume calculation in Sarfvikinkallio
Number of Pages Date	29 pages + 2 appendices 7 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructor	Vesa Rope, Principal Lecturer
<p>Rock volume calculations and the marking of extraction is required on many construction sites. In this Bachelor's thesis these measurements and calculations at one construction site were presented. Furthermore, the validity of the rock excavation volume calculation, as well as the reliability of the ground control points at the construction site were reviewed.</p> <p>When the volume of rock to be excavated was calculated, there remained some incorrect points in the surface model. The search for and deletion of these points from the model was presented in detail. Finally, the volume of excavated rock was recalculated and the validity of the new calculation was examined. The results of the calculation were also presented with various methods.</p> <p>The thesis also presented the necessary initial data and plan drawings required for the marking of extraction as well as the handling of the input data for measurement. In addition the equipment required for the marking of extraction, the measurement methods and field measurements were introduced. Furthermore, the determining of the coordinate systems for the sample construction site was presented and their reliability was compared with each other.</p> <p>This thesis can be used when calculating the rock excavation volume with 3D-Win field measurement software. The thesis also helps to find incorrect points from surface models.</p>	
Keywords	rock excavation, volume

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Esimerkkityömaa	1
2.1	Esittely	1
2.2	Esimerkkityömaalla toimivat yritykset	2
2.2.1	Mittauspalvelu Tapio Saarenpää Oy	2
2.2.2	Pohjarakennus Jussinmäki Oy	2
2.2.3	SRV Rakennus Oy	2
3	Lähtötiedot	3
3.1	Kalusto	3
3.2	Lähtötiedot	3
3.3	Tarkkuus ja toleranssit	5
4	Mittaukset	6
4.1	Mittausmenetelmät	6
4.1.1	Takymetrimittaus	6
4.1.2	Verkko-RTK	6
4.2	Maastomittaukset	7
4.3	Mittauksiin vaikuttavaa	7
4.4	Maastomallin tarkkuus	8
4.5	Suunnitelmakuvat	8
4.6	Helmert-muunnos tasolla	9
4.7	Louhinnan merkintä	9
4.7.1	Neliölouhinta ja louhinta	10
4.7.2	Tilavuuden mittayksiköt	10
5	3D-Win	11
5.1	Tilavuuksien laskenta	11
5.1.1	Pintamalli/maastomalli	11
5.1.2	Alamalli	11
5.1.3	Kanaalit	11
5.1.4	Kolmiointi	12
5.2	Laskentamenetelmät	12

5.2.1	Kolmioitujen maastomallien yhdistäminen	12
5.2.2	Minimipinta	12
5.2.3	Ruutumassat	13
5.2.4	Poikkileikkausmenetelmä	13
6	Tilavuuden määrittelyn oikeellisuus	14
6.1	Tilavuuden määrittelyn alueet	14
6.2	Tilavuuden määrittelyssä käytetyt pintamallit	15
6.3	Alkuperäiset laskelmat	15
6.4	Laskentamallien tarkastaminen	16
6.4.1	Tiedoston tarkastus	16
6.4.2	Korkeuskäyrät	16
6.4.3	3D-zoomaus	18
6.5	Tulokset eri laskentatavoilla, 3D-Win, versio 6	18
6.5.1	Ruutumassat	18
6.5.2	Poikkileikkausmenetelmä	19
6.5.3	Minimipintamalli	20
6.5.4	Yhdistä mallit -menetelmä rajauksella	21
6.5.5	Alkuperäisen laskennan vertailu arvioihin	22
6.5.6	Selvitys minimipinta-toiminnon ja alueen rajauksen laskentaeroista	22
6.5.7	Laskennan oikeellisuus	24
7	Lähtöpisteiden luotettavuuden arviointi	24
7.1	Sisäinen ja ulkoinen luotettavuus	24
7.2	Vertailtavat koordinaatistot	25
7.3	Vertailu	26
7.3.1	Rajapyykkien kiinnioton koordinaatisto	26
7.3.2	A-talon koordinaatisto	26
7.3.3	B-talon koordinaatisto	27
7.3.4	Viereisen työmaan koordinaatisto	28
8	Yhteenveto	28
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Sarfvikinkallion louhintamalli	
	Liite 2. Alkuperäiset louhintalaskelmat	

## Lyhenteet

ETRS-GK	Tasokoordinaattijärjestelmä, kaistat 1° välein
GNSS	Global Navigation Satellite System, satelliittipaikannusjärjestelmä
KKJ	Kartastokoordinaattijärjestelmä, kaistat 3° välein
m	metri
mm	millimetri
N2000	Euroopan yhtenäisen korkeusjärjestelmän realisaatio
N43	Korkeusjärjestelmä, joka on luotu Suomen 1. tarkkavaaituksen pohjalta
N60	Korkeusjärjestelmä, joka on luotu Suomen 2. tarkkavaaituksen pohjalta
RTK	Real Time Kinematic, reaaliaikainen kinemaattinen mittaus
Verkko-RTK	RTK-mittaus, jossa käytetään tukiasemien verkostoa yhden tukiaseman sijaan

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä esitellään louhinnan tilavuuksien määrittämistä 3D-Win-maastomittausohjelmistolla sekä esitetään mittauksiin tarvittavaa kalustoa, mittausmenetelmiä sekä suunnitelma-aineistoiden käsittelyä.

Insinööriyössä esitetään myös maastomallin ja louhintamäärien laskentaan tarvittavien pintamallien luomista sekä vaihe vaiheelta virheiden etsimistä malleista. Lopuksi arvioidaan esimerkkityömaan louhintalaskelmien oikeellisuutta ja onnistumista sekä esitellään tulokset eri laskentamenetelmiä käyttäen.

Insinööriyössä esitetään myös lähtöpisteiden määrittäminen esimerkkityömaalle ja tarkastellaan lähtöpisteiden luotettavuutta keskenään.

## 2 Esimerkkityömaa

### 2.1 Esittely

Insinööriyön esimerkkityömaa sijaitsee Kirkkonummella, Sarfvikin uudella asuinalueella. Sarfvik sijaitsee aivan Espoon ja Kirkkonummen rajan läheisyydessä Espoonlahden länsipuolella. Esimerkkityömaan sijainti on esitetty kartalla, kuvassa 1. Alueen rakentaminen on aloitettu vuonna 2013, alueelle on tarkoitus rakentaa yhteensä noin 1000 asuntoa, joista suurimman osan pitäisi valmistua vuoden 2015 loppuun mennessä. Esimerkkityömaa on osa tätä rakennettavaa kokonaisuutta. [7]





### 3 Lähtötiedot

#### 3.1 Kalusto

Maanrakennustöihin ja muihin pienempää tarkkuutta vaativiin mittauksiin kalustona ovat Trimblen R8 GNSS -vastaanottimet. Suurempaa tarkkuutta vaativiin mittauksiin, kuten rakennusmittauksiin, käytössä on Trimblen S6 robottitakymetrit. Molemmat kojeet ovat yhteensopivia Trimblen CU-maastotietokoneen kanssa, jonka ohjelmistona toimii Survey Controller. Edellä mainittu kalusto on esitelty kuvassa 2.



Kuva 2. Trimble S6 -robottitakymetri, R8 GNSS-vastaanotin, CU-maastotietokone [4]

#### 3.2 Lähtötiedot

27.2.2014 Kirkkonummen kunnan mittausosasto lähetti koko Sarvvin kattavan kartan, kiintopistetiedot sekä kiinteistörajat ETRS-GK25-koordinaatistossa ja N2000-korkeusjärjestelmässä.

2.5.2014 saatiin rakentajalta työmaata koskevat lähtöpisteet sekä asemakuva ETRS-GK25-koordinaattijärjestelmässä ja N2000-korkeusjärjestelmässä.

7.5.2014 Kirkkonummen kunnan mittausosasto lähetti työmaata koskevat lähtötiedot kkj2-koordinaattijärjestelmässä ja N60-korkeusjärjestelmässä ja ilmoitti, että

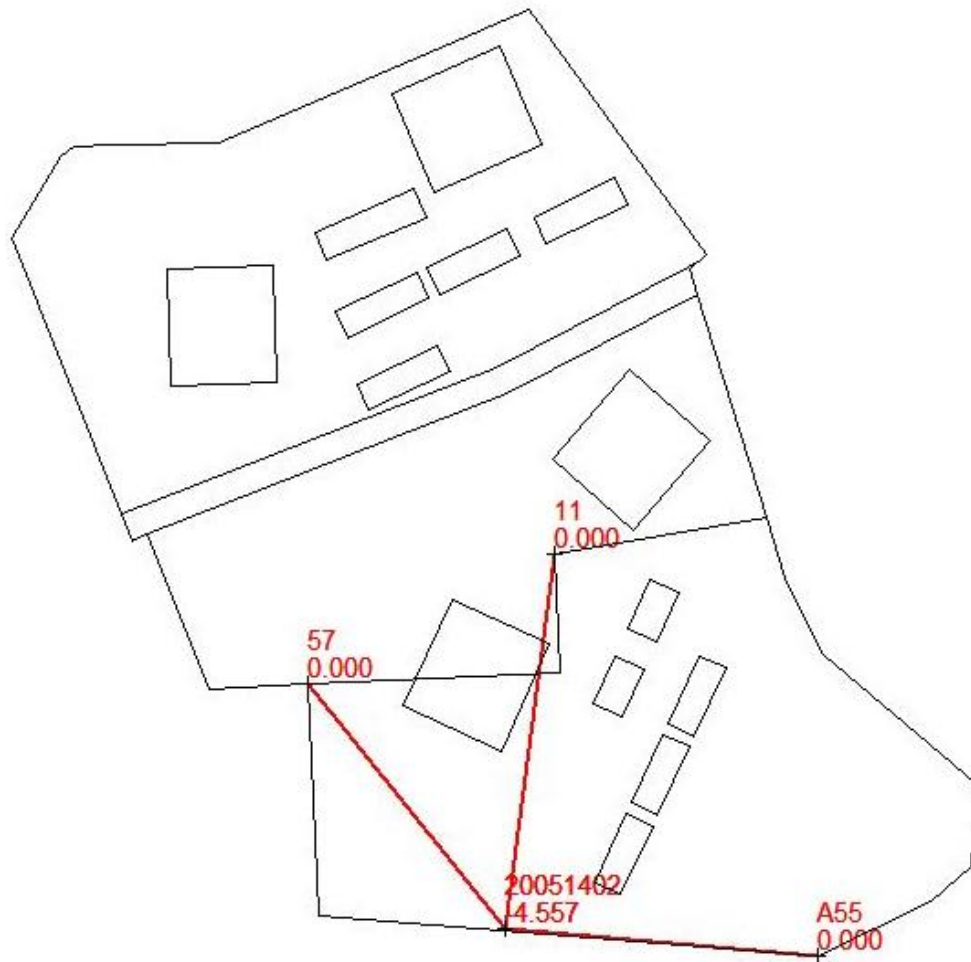
”Siirryttäessä ETRS-GK25 koordinaattijärjestelmään, huomasimme että vanhoissa kiintopisteissä oli paikoin niin suuria virheitä, että koordinaattimuunnosta ei kannata tehdä. Aikaisemmin lähettämäni pisteet ovat siis suoraan ETRS-GK25 koordinaatistoon mitattuja.”

Epäselvyyksien välttämiseksi maanrakentajan kanssa sovittiin, että mittaus sidotaan työn alkaessa alueella olemassa oleviin rajapyykkeihin ja näiden kautta ETRS-GK25-koordinaattijärjestelmään, koska kaikki työmaan piirustukset on laadittu tähän järjestelmään. Korkeus saatiin Kirkkonummen kunnan mittausosaston alueelle tuomista korkeusmerkeistä N2000-korkeusjärjestelmässä.

Mittaus sidottiin rajapyykkeihin myös siksi, ettei käytössä ollut satelliitivastaanotinta muulloin kuin maanrakennustöiden loppuvaiheessa. Satelliitivastaanottimella olisi saanut lähtöpisteistä luotettavammat, jolloin virhelähteinä olisivat olleet vain satelliittimittauksissa ilmenevät virheet, kuten signaalin heikkous, huono kuuluvuus (korjausdata) ja sää. Satelliitivastaanottimen merkintätarkkuus hyvissä olosuhteissa on noin 2 cm ja korkeustarkkuus noin 5 cm.

Kirkkonummen kunnan lähettämien kiintopisteiden käyttö ei myöskään ollut mahdollista niiden kaukaisesta sijainnista sekä työmaan aloituksen kiireellisyydestä johtuen.

Louhintojen merkintä ja kalliopintojen mittaus laskentaa varten alueella suoritettiin tämän rajapyykkien kiinnimittauksen pohjalta, joka on esitetty kuvassa 3. Osa mittauksista maanrakennusten loppuvaiheessa suoritettiin satelliitivastaanottimella, jonka pohjalta rajapyykkien sidonnan onnistumista ja sen pohjalta luodun koordinaatiston luotettavuutta pystyttiin seuraamaan ja toteamaan sen riittävän suoritettaviin mittauksiin.



Kuva 3. Sarfvikinkallio, koordinaatiston luonti työmaalle

### 3.3 Tarkkuus ja toleranssit

Vuonna 2003 julkaistuissa kaavoitusmittausohjeissa rakennusten merkintämittausten mittaustavaksi suositellaan satelliittimittausta (RTK) ja takymetrimittausta, sekä muita menetelmiä, mikäli niillä saavutetaan vaadittu tarkkuus. Kaavoitusmittausohjeissa ei ole määritelty rakennusten merkintämittausten tasotarkkuusvaatimusta vaan se määritellään ennakkoon tapauskohtaisesti. [2, s. 56.]

Louhinnan toleranssit määrätään yleisesti suunnitelmissa. Mikäli suunnitelmapiirustuksissa ei ole mainittu louhinnan toleransseja, voidaan käyttää RIL Talonrakennuksen maarakenteen -kirjassa normaalilouhintojen toleransseiksi ilmoitettuja poikkeamia -400 mm ja +100 mm suunnitelman louhintatasosta. [9, s. 36.]

Toisaalta louhinnan toleranssit eivät suoranaisesti koske mittaajaa, koska maastoon merkitään poraussyvyys suunnitelmassa olevan louhintatason mukaisesti. Poraaja poraa kokempohjaisesti tuon merkinnän mukaan reiän hieman syvemmäksi, jotta kallio varmasti rikkoontuu suunnitelmassa esitettyyn tasoon asti.

## **4 Mittaukset**

### **4.1 Mittausmenetelmät**

#### **4.1.1 Takymetrimittaus**

Takymetrimittaus perustuu kulma- ja etäisyyshavaintoihin, joiden perusteella koje laskee mitattavan pisteen koordinaatit. Ennen mittausta koje pystytetään joko tunnetun pisteen päälle tai määrittää kojeen sijainti vapaana asemapisteenä. [6]

Tunnetun asemapisteen määrittämisessä koje asetetaan sellaisen pisteen päälle, jonka koordinaatit tiedetään. Koordinaatiston suunta määritetään mittaamalla toinen piste. Tämän suuntahavainnon perusteella koje määrittää koordinaatiston suunnan.

Vapaan asemapisteen määrittämisessä koje pystytetään sijainniltaan tuntemattomaan paikkaan. Kojen tasauksen jälkeen mitataan kaksi tai useampia tunnettuja pisteitä, joiden pohjalta koje laskee sijaintinsa ja määrittää koordinaatiston suunnan.

#### **4.1.2 Verkko-RTK**

RTK-mittaus tarkoittaa reaaliaikaista kinemaattista mittausta, joka suoritetaan satelliittivastaanottimen avulla. RTK-mittauksessa kaikki laskennat tapahtuvat reaaliajassa, jolloin myös koordinaatit ovat heti tallennettavissa. RTK-mittaus eroaa verkko-RTK-mittauksesta niin, että RTK-mittauksessa käytetään yhtä kiinteää tukiasemaa, kun taas verkko-RTK käyttää tukiasemien verkostoa. [3; 6.]

Verkko-RTK antaa luotettavamman tuloksen, koska useampaa tukiasemaa käytettäessä ilmakehän ja ionosfäärin aiheuttamia virheitä mittaustuloksissa voidaan paremmin hallita.

Verkko-RTK-mittauksessa mittaja tarvitsee satelliittivastaanottimen sekä tiedonsiirtoyhteyden laskentakeskukseen. Laskentakeskus muodostaa mittajan likimääräiseen sijaintiin virtuaalisen tukiaseman ja kiinteiden tukiasemien lähettämän datan perusteella tälle virtuaaliselle tukiasemalle lasketaan korjausdata, jonka laskentakeskus lähettää mittajalle puhelinverkossa. [6]

#### 4.2 Maastomittaukset

Ennen tilavuuksien määrittämistä täytyy hankkia aineisto, jonka pohjalta maastomalli louhittavan kallion pinnasta tehdään. Yleisimmin tämä tapahtuu itse mittaamalla, jolloin tuloksen kannalta saadaan tarkin lopputulos.

Mitattaessa on valittava työmaalle parhaiten sopiva mittausmenetelmä. GPS-mittauksessa on mahdollista mitata pikapiste, jolloin havainto tallentuu heti mutta tarkkuus on huonompi (vain yksi havainto, joka tallennetaan). Toinen vaihtoehto on mitata kartoituspiste, jolloin havaintojen määrän ja mittauksen keston voi itse päättää ja pisteen tarkkuus paranee.

Esimerkkityömaan mittauksiin käytössä olleen Trimblen R8 -satelliittivastaanottimen vakioasetuksena kartoituspisteelle on 5 sekuntia ja 3 havaintoa. Työmaalla satelliittivastaanottimella mitatut kalliopinnat on mitattu kartoituspiste-menetelmällä käyttäen kojeen vakioasetuksia.

Myös takymetrillä mitattaessa voidaan valita mittaustapa kahdesta vaihtoehdosta. STD-mittauksessa takymetri mittaa useamman havainnon prismaan ja laskee etäisyyden näiden havaintojen keskiarvona. Toisena vaihtoehtona on TRK-mittaus, jolloin takymetri mittaa prismaan koko ajan ja tallennettaessa havainto tallentuu yhdestä etäisyshavainnosta. Työmaalla suoritettujen kalliopinnan kartoitukset takymetrillä on suoritettu käyttäen TRK-mittausta.

#### 4.3 Mittauksiin vaikuttavaa

Jos mitattava kalliopinta on hyvin epätasainen, täytyy alueelta mitata pisteitä tiheämmin, erityisesti alueista joilla korkeuden vaihtelut ovat suuria.

Mitattaessa kalliopintoja on hyvä käyttää takymetrin koodikirjastoa, jolloin pisteelle saa tallennettua suoraan pintatunnuksen, koodin ja viivan. Koodi ja pinta eivät ole välttämättömiä, jos mitataan pelkät kalliopinnat yhteen tiedostoon. 3D-Win-ohjelmassa voi helposti valita kaikki pisteet ja muuttaa koodit ja pintatunnukset oikeiksi.

Viivan piirto kartoittaessa kohteisiin, jolloin maasto muuttuu, on tärkeää että kolmiointi katkeaa viivaan, eikä esimerkiksi kolmioi pistepilveä kuopan yli. Tällöin maastomalli voi vääristyä ja tilavuuden laskenta ei ole luotettava.

Myös mitattavan alueen ulkoreunat on tärkeää kartoittaa viivana, jolloin ei tarvitse kolmioitaessa miettiä, meneekö kolmiointi mitatun alueen reunojen ulkopuolelle, jolloin myös laskenta tulee liian suurelta alueelta virheellisesti (etenkin U:n muotoiset kohteet).

#### 4.4 Maastomallin tarkkuus

Maastomalli on sitä tarkempi, mitä tiheämmin pisteitä alueelta on mitattu. Kokemuksen pohjalta louhintojen laskemista varten pisteitä on hyvä mitata 2–4 metrin välein. Myös kallionpinnan tasaisuus vaikuttaa pisteiden mittaamiseen. Kallion ollessa hyvin epätasainen on pisteitä mitattava tiheämmin kuin sileältä kalliolta, jossa korkeusvaihtelut ovat vähäisiä. Epätasaista kallionpintaa mitatessa pisteitä tarvitsee mitata syvemmistä kuopista ja kumpareista, sekä mitata kalliolla olevien luiskien ylä- ja alareunat. Edellä mainittuja mitatessa on hyvä käyttää tallentimen koodikirjastoa ja laittaa näille kohteille viivan tunnus, jolloin pisteitä kolmioitaessa ohjelmisto kolmioi aineiston oikein.

#### 4.5 Suunnitelmakuvat

Yleisimmät koordinaattijärjestelmät Suomessa ovat ETRS-GK sekä KKJ. Korkeusjärjestelmistä käytössä ovat N60 ja N2000, harvemmin myös N43.

Ennen työn alkamista pitää selvittää käytettävä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä sekä saada tilaajalta työn suorittamiseksi tarvittavat suunnitelmapiirustukset.

Monesti tilaajan toimesta louhintoja varten on laadittu louhintasuunnitelmapakettia. Paketti voi olla suoraan oikeassa koordinaattijärjestelmässä, mutta useimmiten se on tarpeen muuntaa oikeaan koordinaattijärjestelmään suorittamalla digitaalisessa muodossa olevalle suunnitelmapiirustukselle Helmert-muunnos. Myös korkeusjärjestelmän kanssa täytyy olla tarkka, jotta merkityt louhinnat eivät jää liian korkeiksi tai syviksi käytettäessä väärää järjestelmää.

#### 4.6 Helmert-muunnos tasolla

Helmert-muunnos tasolla on yleisimmin käytetty yhdenmuotoisuusmuunnos pelkkien koordinaattien suhteen. Helmert-muunnoksessa käytetään neljää parametria, joita ovat origon siirto kahden koordinaattiakselin suhteen, kierto sekä mittakaavatekijä. Helmert-muunnos säilyttää kuvioiden muodot sellaisena kuin ne alun perin ovat, mutta pisteiden sijainti ja mittakaava voivat muuttua.

Suunnitelmapiirustus voi olla piirretty omaan koordinaatistoon tai eri koordinaattijärjestelmään kuin työmaan muut piirustukset, jolloin tarvitaan Helmert-muunnosta.

Suunnitelmapiirustuksen muunnos tapahtuu esimerkiksi siten, että tarvitaan asemakuva ja tiedot tontin rajapyykkien koordinaateista oikeassa koordinaattijärjestelmässä. Asemakuvasta valitaan vähintään kaksi rajapyykkiä, joiden koordinaateille annetaan uudet arvot oikeassa koordinaattijärjestelmässä olevien rajapyykkien koordinaattien mukaan. Tämän jälkeen kuva kääntyy oikeaan koordinaattijärjestelmään. Helmert-muunnoksen jälkeen on tärkeää tarkastaa myös muiden rajapyykkien koordinaatteja, jolla varmistetaan, että kuva on varmasti kääntynyt oikein. Mikäli muiden rajapyykkien sijainneissa on eroja, tarvitsee selvittää, mistä erot johtuvat ja mahdollisesti yrittää suorittaa muunnos käyttäen useampia pisteitä. [6]

#### 4.7 Louhinnan merkintä

Louhinta merkitään maastoon louhintasuunnitelman mukaisesti. Esimerkkityömaan louhintasuunnitelmasta saadaan tietää louhinnat talojen, pihan sekä kanaalien osalta, joten louhintojen merkitsemistä varten ei tarvinnut kuin siistiä suunnitelmapiirustus ja ladata se takymetriin taustakartaksi. Louhintakuva oli myös valmiiksi oikeassa koordi-

naattijärjestelmässä, joten myöskään Helmert-muunnosta ei tarvinnut piirustukselle suorittaa.

#### 4.7.1 Neliölouhintaa ja louhintaa

Neliölouhinnalla tarkoitetaan louhintaa, joka ulottuu korkeintaan metrin syvyydelle olemassa olevasta kalliopinnasta. Neliölouhinnan tuloksena ilmoitetaan alueen pinta-ala. Louhintasyvyyden ylittäessä metrin puhutaan avolouhinnasta, jonka tulos ilmoitetaan kuutioina. Ennen laskennan suorittamista täytyy selvittää ilmoitetaanko kuutiot teoreettisena vai todellisena kiintotilavuutena, toisin sanoen suoritetaanko laskenta suunnitelmien vai toteutuneiden pintojen mukaan.

#### 4.7.2 Tilavuuden mittayksiköt

Infra RYL 2006, Rakennusosa- ja hankenimikkeistön määramittausohjeessa on määriteltä käytössä olevat tilavuusyksiköt. Mittaajan täytyy tietää, missä tilavuusyksikössä laskennasta saatu tulos ilmoitetaan, koska kalliomassojen tilavuus vaihtelee merkittävästi eri käsittelyvaiheissa. [1]

Mittayksiköt ovat seuraavat:

- **m<sup>3</sup>ktr, teoreettinen kiintotilavuus:** tilavuus luonnontilassa, suunnitelmiin piirrettyjen rajojen mukaan mitattuna
- **m<sup>3</sup>ktd, todellinen kiintotilavuus:** tilavuus luonnontilassa, lopullisten rajapintojen mukaan mitattuna
- **m<sup>3</sup>rtr, teoreettinen rakennetilavuus:** tilavuus rakenteessa, mitattuna suunnitelmaan piirrettyjen rajapintojen mukaan
- **m<sup>3</sup>rtd, todellinen rakennetilavuus:** tilavuus rakenteessa, mitattuna todellisten rajapintojen mukaan
- **m<sup>3</sup>itd, todellinen irtotilavuus:** todellinen tilavuus, joka aineella on ennen kuljetusta. [1]



## 5 3D-Win

### 5.1 Tilavuuksien laskenta

#### 5.1.1 Pintamalli/maastomalli

Pintamallilla tarkoitetaan digitaalisessa muodossa olevaa maastomallia, joka on muodostettu alueen kartoitetuista kalliopinnan pisteistä kolmioimalla. Esimerkkityömaan kalliot mitattiin seitsemällä eri työmaakäynnillä ja laskennat suoritettiin kahdessa osassa.

#### 5.1.2 Alamalli

Alamallilla tarkoitetaan alinta rakennepintaa, toisin sanoen louhintasuunnitelmaan piirrettyä aluetta ja tasoa, johon louhinnan on tarkoitus ulottua. Alamalli täytyy itse tehdä annettujen suunnitelmakuvien pohjalta. Mikäli alueesta on olemassa louhintakartta- ja suunnitelma, tehdään malli suunnitelmaan piirrettyjen viivojen ja korkeuksien pohjalta. Jos erillistä suunnitelmaa ei ole, tehdään malli perustus- ja pinnantasaussuunnitelmia apuna käyttäen, mutta tällä tavoin tekemällä mallin luominen vie aikaa riippuen työmaan koosta.

Louhintasuunnitelmakarttaa käytettäessä louhintatasojen korkeuksissa on jo huomioitu työvarat, ja laskenta tapahtuu näiden korkeuksien ja alueiden perusteella. Mikäli alamalli tehdään itse perustus- ja pinnantasaussuunnitelmien pohjalta, tarvitsee selvittää louhintojen ulottuminen rakenteiden ulkopuolelle sekä perustusten alapuolelle.

#### 5.1.3 Kanaalit

Kanaalit ovat syvennyksiä, joita tarvitaan kaapeleita ja putkia varten. Kanaaleita tarvitaan esimerkiksi vesiputkille, jätevesi- ja hulevesiviemäireille, kaukolämpöputkille sekä sähkö- ja puhelinkaapeleille.

#### 5.1.4 Kolmiointi

Kolmiointi muodostaa mitatuista pisteistä varsinaisen maastomallin. Kolmioinnissa mitatuista pisteistä muodostetaan kolmioita, ja tämä kolmioista muodostuva pinta kuvaa alueen maastoa. Maastomalli on sitä tarkempi, mitä enemmän pisteitä on mitattu. Esimerkkityömaan kalliosta on mitattu noin 2200 pistettä ja mitattu alue käsittää noin 7 600 m<sup>2</sup>:n alueen. Pistetiheys alueelta on noin 0,3 pistettä/m<sup>2</sup> eli yksi piste noin 3,5 m<sup>2</sup>:n alueelta.

### 5.2 Laskentamenetelmät

#### 5.2.1 Kolmioitujen maastomallien yhdistäminen

3D-Win-ohjelmassa voidaan yhdistää kaksi maastomallia, jolloin saadaan korkeuseropinta, jonka pohjalta saadaan laskettua tarkka tilavuusmalli verkkojen välillä. Maastomallien yhdistämisellä saadaan laskettua vain kahden pinnan välinen tilavuus ja pinta-ala kerrallaan, mutta tilavuuden laskenta on absoluuttisen tarkka. [5]

Menetelmän huono puoli on juuri tämä kahden pinnan välinen laskenta kerrallaan, koska laskentoja tarvitsee tehdä useita ja mallien pintatunnuksia tarvitsee muuttaa välillä, jotta laskenta osaa eritellä neliö- ja kuutiolouhinnan. Yhdistä mallit -menetelmää käytettäessä ensimmäisenä tarvitsee aineistoista laskea louhinnan tilavuudet kalliopinnasta normaalilouhinnan tasoon, minkä jälkeen lasketaan louhinnan tilavuudet tasosta kanaaliin. Tason ulkopuolelle jäävät kanaalit eritellään taiteviivalla aineistosta, minkä jälkeen ne lasketaan suoraan kalliopinnan mallista tehtyä rajausta käyttäen.

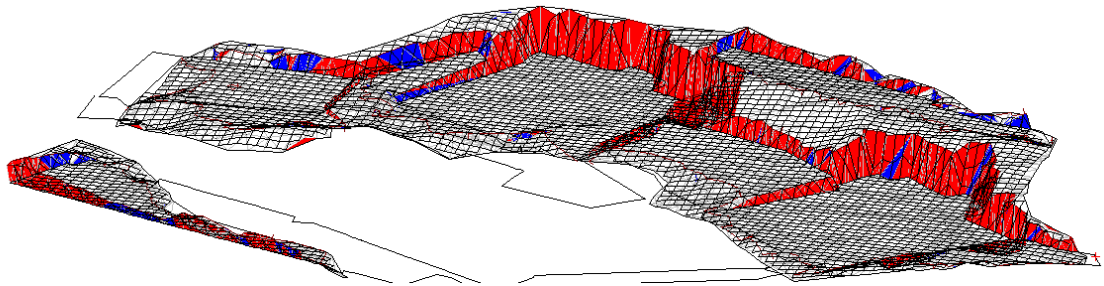
#### 5.2.2 Minimipinta

Yhdistä mallit -menetelmällä voidaan myös yhdistää kaksi pintamallia yhdeksi pinnaksi. Tämä helpottaa laskentaa jossa kanaalit ulottuvat normaalilouhinnan alueen ulkopuolelle, koska minimipinta-toimintoa käytettäessä ei tarvitse erikseen rajata kanaaleita, joiden laskenta suoritetaan suoraan kallion pinnasta, eli kanaaleita, jotka ulottuvat louhinnan alapintamallin reunojen ulkopuolelle.

Minimipinta-menetelmällä voidaan esimerkiksi yhdistää kalliopintojen maastomalliin normaalilouhinnan pintamalli, jolloin muodostuu yksi koko alueen kattava pintamalli,

jossa on yhdistetyistä pintamalleista alimmat korkeudet. Toisin sanoen normaalilouhinnan pintamalli upotetaan kalliopintojen maastomalliin, jonka tuloksena muodostuvassa maastomallissa on normaalilouhinnan pinta ja alueilla, joissa ei ole normaalilouhintaa, tulee pinta kalliopinnan maastomallista. Minimipintamalli esimerkkityömaan alueelta 1 on esitetty kuvassa 4. [5, s.19]

Minimipintamallia luodessa täytyy normaalilouhinnan pintamallin ulkoreunat kopioida alkuperäisen tason ulkopuolelle ja antaa näille kopioiduille viivoille suurempi korkeuskema. Mikäli normaalilouhinnan pintamallin reunoja ei kopioida, muodostuu minimipinta normaalilouhinnan pintamallin pisteistä mitattuihin kalliopisteisiin ja paikoin syntyy suuria luiskia, jotka vääristävät laskennan tulosta. Reunojen kopioinnilla näitä luiskia ei muodostu.



Kuva 4. Alue 1, yhdistä mallit -menetelmällä muodostettu minimipintamalli

### 5.2.3 Ruutumassat

Ruutumassat-menetelmä laskee kaikkien pintatunnuksilla eriteltyjen mallien tilavuudet yhdellä kerralla. Menetelmä laskee korkeuspisteen jokaiseen ruutuun jokaisesta pintamallista. Näiden korkeuspisteiden ja ruutukoon mukaan määritetään tilavuudet. [5, s. 28.]

### 5.2.4 Poikkileikkausmenetelmä

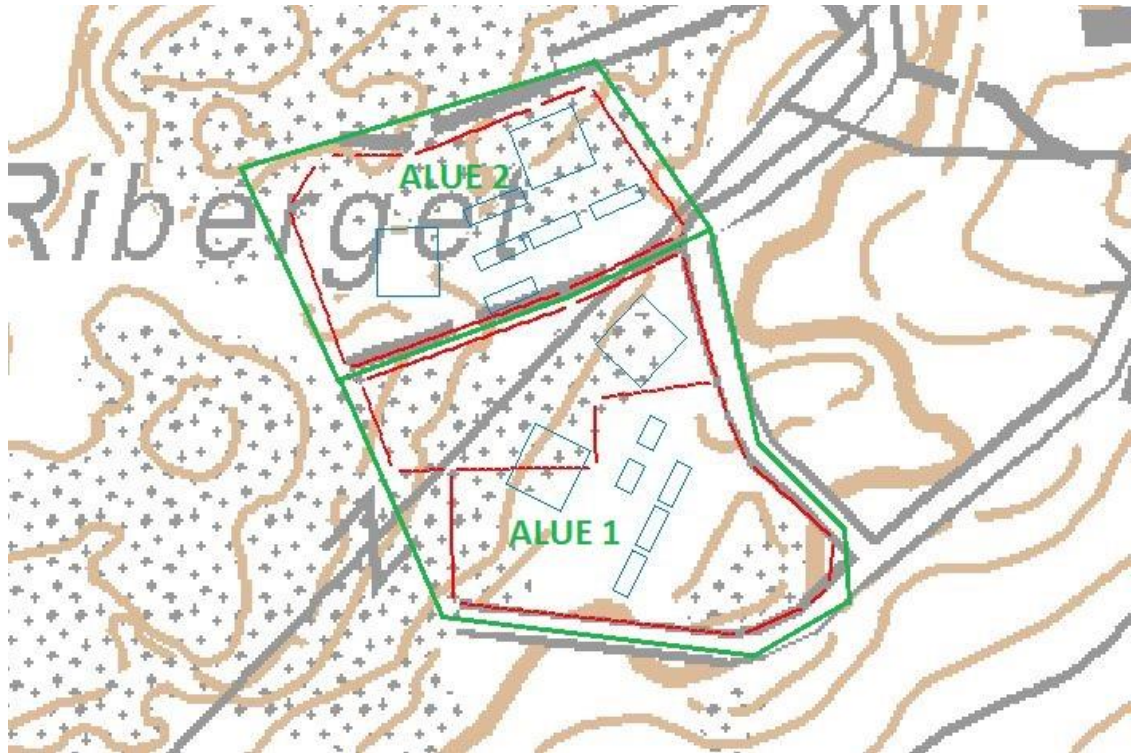
Poikkileikkausmenetelmässä piirretään mittalinja alueelle, josta tilavuudet halutaan määrittää. Mittalinjalle määritetään paalulukku, jonka perusteella ohjelma laskee poikkileikkaukset alueelta, jonka tilavuutta ollaan määrittämässä. Paaluväli vaikuttaa tilavuuden määrittämiseen, ja tiheämmällä paaluvälillä tulos on tarkempi.

Poikkileikkausmenetelmä määrittää tilavuuden poikkileikkaus kerrallaan. Menetelmässä lasketaan poikkileikkauksen pinta-alat ja tilavuudet määritetään näiden pinta-alojen mukaan puoleen väliin edellistä ja seuraavaa paalulukua. Pinta-ala siis määrittyy poikkileikkauksen pinta-alan ja paaluluvun pituuden perusteella. [5, s. 29.]

## 6 Tilavuuden määrittämisen oikeellisuus

### 6.1 Tilavuuden määrittämisen alueet

Esimerkkityömaan louhinnat on määritetty kahdessa osassa. Tilavuuden määrittämisen alueet on esitetty kuvassa 5



Kuva 5. Laskenta suoritettu kahdessa osassa kuvan mukaisesti (PaITuli-latauspalvelu).

## 6.2 Tilavuuden määrittämisessä käytetyt pintamallit

Kanaalien laskentaa varten maastomalli on tehty louhintakartan pohjalta poimimalla kanaaleiksi koodatut kohteet louhintakartalta ja muokkaamalla kohteiden korkeudet oikeiksi.

Alamalli on tehty louhintakartan pohjalta poimimalla avolouhinnaksi koodatut kohteet. Mallin tekeminen vaati kuitenkin jonkin verran työtä, koska louhintatasoja piti yhdistää kanaalien kohdalta, jotta laskenta laskee kanaalit vasta alapintamallin alapuolelta. Avolouhinnan louhintatasojen viivat suunnitelmapiirustuksessa kulkivat myös päällekkäin, ja 3D-Win-ohjelma ei osaa kolmioida kohteita oikein, jos viivat kulkevat päällekkäin. Tämän vuoksi louhintakartalta ilmenevät alueet piti erottaa toisistaan niin, että viivat eivät leikkaa tai kulje päällekkäin. Alamalli on siis luotu täysin louhintakartan mukaisesti niin, että louhintatasojen rajat on piirretty noin 10 senttimetrin päähän toisistaan alkupe-  
räisen louhintatason viivan molemmin puolin ja muokattu piirrettyjen louhintatasojen korkeuden suunnitelmakuvan korkeuslukemia vastaaviksi.

## 6.3 Alkuperäiset laskelmat

Taulukko 1. Alkuperäiset tilaajalle toimitetut tilavuudet

	ALUE1		ALUE 2	
Pinta	Alue	Tilavuus	Alue	Tilavuus
Louhinta	1251	3112	1387	2536
Neliölouhinta	944	459	1030	494
Täyttö	376	237	690	236
Kanaalin louhinta	42	61	12	13
Kanaalin neliöt	165	71	410	214
Kanaalin täyttö	227	179	446	243
<b>YHT.</b>	<b>4282</b>		<b>YHT.</b>	<b>3989</b>

Alkuperäiset louhintatilavuuksien määritykset, joiden tulokset esitetään taulukossa 1, on tehty ruutumassat-menetelmää käyttäen. Ruutukokona laskennassa käytettiin 0,5 m:n ruutua ja laskenta on suoritettu kahdessa osassa alueina 1 ja 2, jotka ilmenevät kuvasta 5.

## 6.4 Laskentamallien tarkastaminen

### 6.4.1 Tiedoston tarkastus

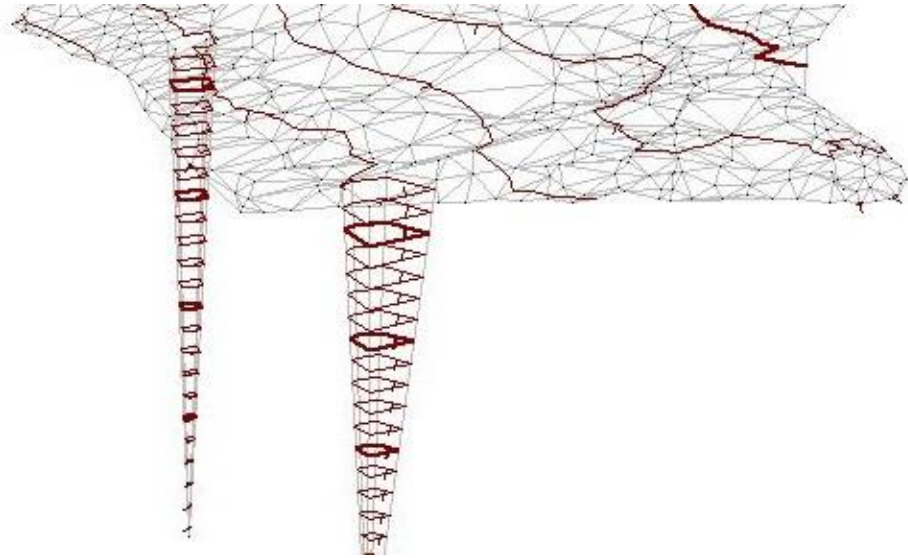
Aineiston tarkastaminen alkaa tiedoston tarkastus -toiminnolla, jonka avulla voidaan aineistosta etsiä muun muassa leikkaavat viivat, pisteet lähellä viivaa, sekä nollakorkeudet.

Edellä mainittuja virheitä ei tiedoston tarkistus -toiminnolla aineistosta löytynyt.

### 6.4.2 Korkeuskäyrät

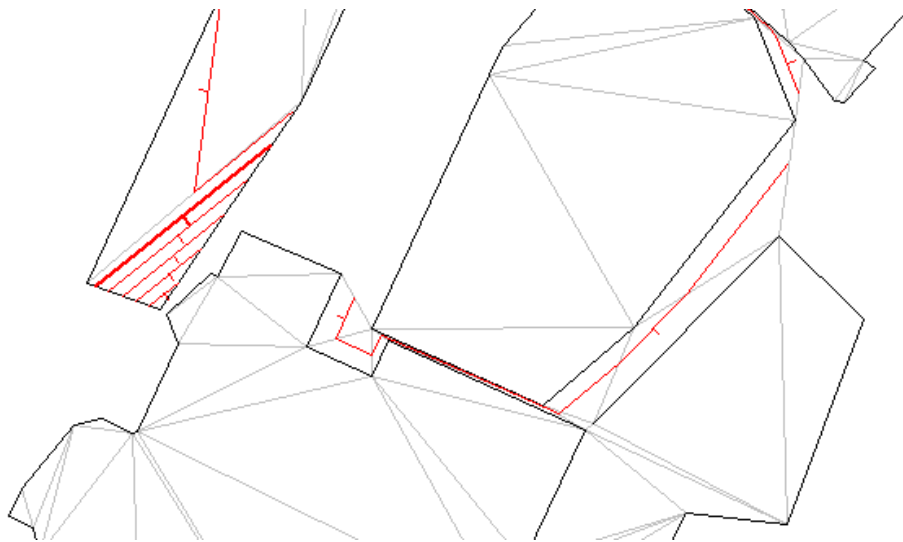
Aineiston kolmioinnin jälkeen voidaan piirtää pintamalliin korkeuskäyrät, joiden avulla on helppo huomata karkeat virheet aineistossa. Mikäli aineistossa on karkeita virheitä, korkeuskäyrät -toiminto piirtää niiden kohdalle useita korkeuskäyriä, jolloin karkea virhe on helppo huomata. Näitä karkeita virheitä aineistossa ovat lähinnä väärät korkeudet, esimerkiksi kojeeseen syötetyt pisteet, joilla on nollakorkeus tai jokin muu työmaan korkeusasemasta poikkeava piste.

Esimerkkityömaan alueen 1 osalta alkuperäisten kalliopintojen mallista löytyi kaksi pistettä, joiden korkeus oli  $-0,40$  m. Virheelliset pisteet on helposti havaittavissa kuvassa 6. Pisteet eivät löytyneet tiedoston tarkistus -toiminnolla, koska kyseessä ei ollut nollakorkeus. Nämä pisteet on helppo tulkita virheellisiksi, koska työmaan kallioiden korkeus vaihtelee välillä  $+20$  -  $+34$  m. Tämän jälkeen virheelliset pisteet aineistosta poistettiin ja suoritettiin kolmiointi uudelleen.



Kuva 6. Korkeuskäyrät ja 3D-zoomaus

Korkeuskäyrät voidaan piirtää myös normaalilouhinnan pintamalliin, jolloin on mahdollista havaita siinä olevia virheitä. Normaalisti louhinnan pintamallin korkeuskäyrien pitäisi piirtyä louhintatasoja rajaavien viivojen mukaisesti. Esimerkkityömaan louhinnan pintamallista havaittiin yksi väärä korkeus, joka alkuperäisen laskennan vääristi mallia. Virheellinen piste aineistossa nähdään kuvassa 7.



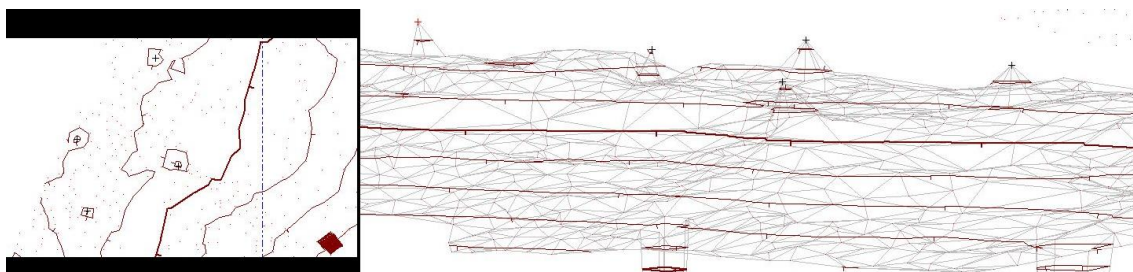
Kuva 7. Alueen 1 louhintatason pintamalliin piirretyistä korkeuskäyristä huomataan virhe

### 6.4.3 3D-zoomaus

3D-zoomauksella voidaan tarkastella aineistoa mistä suunnasta tahansa ja zoomauksella huomataan poikkeavat pisteet huomattavasti helpommin kuin käymällä aineistoa piste kerrallaan läpi ylhäältä päin katsottuna.

Kaikkia virheellisiä pisteitä ei huomata myöskään korkeuskäyrien piirtämisellä. Näillä virheellisillä pisteillä tarkoitetaan muun muassa takymetrin asemapisteitä, jotka tallentuvat samaan työhön mitattujen pisteiden kanssa. Korkeuskäyrien piirrossa voi tulla ympyrän muotoisia korkeuskäyriä kohtiin, joissa on esimerkiksi kallion kohouma, mutta myös kohtiin, joissa aineistoon on jäänyt takymetrin asemapiste. Mikäli asemapisteen ja kalliopinnan korkeudet samalla kohtaa jäävät saman korkeuslukeman sisäpuolelle, ei siihen kohtaan piirry korkeuskäyrää lainkaan, jolloin virheellisen pisteen havaitseminen on vieläkin haastavampaa.

Esimerkkityömaan kallioiden maastomallista löytyi 5 asemapistettä alueelta 1 ja alueen 2 maastomallista yksi asemapiste. Kuvassa 8 nähdään selkeästi alueen 1 pintamalliin jääneet asemapistet. Pisteet poistettiin tiedostosta ja suoritettiin kolmiointi uudelleen.



Kuva 8. Asemapisteen ympärille piirtyneet korkeuskäyrät ja 3D-zoomaus samasta kohdasta

## 6.5 Tulokset eri laskentatavoilla, 3D-Win, versio 6

### 6.5.1 Ruutumassat

Ruutumassat menetelmällä laskettuna, korjattuja pintamalleja käyttäen, tulokseksi esimerkkityömaan louhinnoista saadaan yhteensä  $32 \text{ m}^3/\text{m}^2$  pienempi määrä verrattuna alkuperäiseen.



Taulukko 2. Ruutumassat-menetelmällä määritetyt tilavuudet verrattuna alkuperäisiin

RUUTUMASSAT							
Laskenta, alkuperäinen			Laskenta, korjattuna				
ALUE 1			ALUE 1				
Pinta	Alue	Tilavuus	Pinta	Alue	Tilavuus		
Louhinta	1251	3112	Louhinta	1232	3052		
Neliölouhinta	944	459	Neliölouhinta	968	470		
Täyttö	376	237	Täyttö	367	154		
Kanaalin louhinta	42	61	Kanaalin louhinta	46	65		
Kanaalin neliöt	165	71	Kanaalin neliöt	165	72		
Kanaalin täyttö	227	179	Kanaalin täyttö	232	184		
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>4282</b>		<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>4250</b>		<b>-32</b>	<b>m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup></b>
ALUE 2			ALUE 2				
Pinta	Alue	Tilavuus	Pinta	Alue	Tilavuus		
Louhinta	1387	2536	Louhinta	1387	2536		
Neliölouhinta	1030	494	Neliölouhinta	1030	494		
Täyttö	690	236	Täyttö	690	236		
Kanaalin louhinta	12	13	Kanaalin louhinta	12	13		
Kanaalin neliöt	410	214	Kanaalin neliöt	410	214		
Kanaalin täyttö	446	243	Kanaalin täyttö	446	243		
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>3989</b>		<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>3989</b>		<b>0</b>	<b>m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup></b>
						<b>-32</b>	

Saatu eroavaisuus johtuu alueen 1 pintamalleihin jääneistä virheellisistä pisteistä, jotka on esitetty luvussa 6.4.

#### 6.5.2 Poikkileikkausmenetelmä

Poikkileikkausmenetelmän tilavuudet on määritetty 10 senttimetrin välein tehdyistä leikkauksista ja pintamalleina on käytetty samoja pintamalleja kuin ruutumassat-menetelmässä. Poikkileikkausmenetelmällä saadaan 39 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> pienempi tulos verrattuna alkuperäiseen laskelmaan.

Taulukko 3. Poikkileikkausmenetelmällä lasketut tilavuudet

POIKKILEIKKAUS, 10cm välein							
Laskenta, alkuperäinen				Laskenta, korjattuna			
ALUE 1				ALUE 1			
Pinta	Alue	Tilavuus		Pinta	Alue	Tilavuus	
Louhinta	1251	3112		Louhinta	1229	3046	
Neliölouhinta	944	459		Neliölouhinta	972	472	
Täyttö	376	237		Täyttö	370	155	
Kanaalin louhinta	42	61		Kanaalin louhinta	30	42	
Kanaalin neliöt	165	71		Kanaalin neliöt	182	96	
Kanaalin täyttö	227	179		Kanaalin täyttö	233	186	
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>4282</b>			<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>4242</b>		<b>-40</b>
							<b>m³/m²</b>
ALUE 2				ALUE 2			
Pinta	Alue	Tilavuus		Pinta	Alue	Tilavuus	
Louhinta	1387	2536		Louhinta	1385	2535	
Neliölouhinta	1030	494		Neliölouhinta	1035	495	
Täyttö	690	236		Täyttö	690	237	
Kanaalin louhinta	12	13		Kanaalin louhinta	1	1	
Kanaalin neliöt	410	214		Kanaalin neliöt	419	225	
Kanaalin täyttö	446	243		Kanaalin täyttö	443	243	
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>3989</b>			<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>3990</b>		<b>1</b>
							<b>-39</b>
							<b>m³/m²</b>

Ruutumassat-menetelmään verrattuna poikkileikkausmenetelmän tulos on 7 m³/m² pienempi.

Poikkileikkausmenetelmää käytettäessä 3D-Win ohjelmisto antoi toisistaan poikkeavat tulokset version 5 ja 6 välillä. Tämä on selvitetty luvussa 6.5.6.

### 6.5.3 Minimipintamalli

Yhdistä mallit -menetelmässä on ensin laskettu normaalilouhinta kalliopinnasta, jonka jälkeen alueen kalliopinnoista ja normaalilouhinnan tasosta on luotu minimipintamalli. Minimipintamallissa normaalilouhinnan pintamallin ulkoreunat on kopioitu 5 senttimetriä alueen ulkopuolelle ja korkeuslukemaan on lisätty +5 metriä.

Minimipintamallia käyttäen on laskettu kanaalien louhinnan tilavuudet. Tätä menetelmää käytettäessä saadaan 11 m³/m² pienempi tulos verrattuna alkuperäiseen tilaajalle ilmoitettuun tulokseen.

Taulukko 4. Minimipinta-menetelmällä määritetyt tilavuudet verrattuna alkuperäisiin

MINIMIPINTAMALLI								
Laskenta, alkuperäinen			Laskenta, korjattuna					
ALUE 1			ALUE 1					
Pinta	Alue	Tilavuus	Pinta	Alue	Tilavuus			
Louhinta	1251	3112	Louhinta	1229	3046			
Neliölouhinta	944	459	Neliölouhinta	972	472			
Täyttö	376	237	Täyttö	370	155			
Kanaalin louhinta	42	61	Kanaalin louhinta	55	84			
Kanaalin neliöt	165	71	Kanaalin neliöt	166	73			
Kanaalin täyttö	227	179	Kanaalin täyttö	221	157			
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>4282</b>		<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>4268</b>		<b>-14</b>	<b>m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup></b>	
ALUE 2			ALUE 2					
Pinta	Alue	Tilavuus	Pinta	Alue	Tilavuus			
Louhinta	1387	2536	Louhinta	1385	2535			
Neliölouhinta	1030	494	Neliölouhinta	1036	495			
Täyttö	690	236	Täyttö	691	237			
Kanaalin louhinta	12	13	Kanaalin louhinta	12	13			
Kanaalin neliöt	410	214	Kanaalin neliöt	408	213			
Kanaalin täyttö	446	243	Kanaalin täyttö	420	225			
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>3989</b>		<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>3992</b>		<b>3</b>	<b>m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup></b>	
						<b>-11</b>		

Ruutumassat- ja poikkileikkausmenetelmiin verrattuna tulos eroaa 21–28 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Minimipinta laskennan tulos ei kuitenkaan ole täysin vertailukelpoinen ruutumassat- ja poikkileikkaus menetelmien kanssa, koska menetelmässä käytetty pintamalli kanaalien laskennassa ei ole sama.

#### 6.5.4 Yhdistä mallit -menetelmä rajauksella

Yhdistä mallit-menetelmässä on laskettu ensin tilavuus kallion ja normaalilouhinnan välillä. Tämän jälkeen on laskettu tilavuus normaalilouhinnan ja kanaalin välillä. Lopuksi on laskettu tilavuudet kalliopinnasta kanaaleihin, jotka ulottuvat normaalilouhinnan alueen ulkopuolelle. Tämän laskennan osalta tulos suurenee.

Taulukko 5. Yhdistä mallit -menetelmän tilavuudet verrattuna alkuperäisiin

<b>YHDISTÄ MALLIT (rajauksella)</b>							
<b>Laskenta, alkuperäinen</b>				<b>Laskenta, korjattuna</b>			
ALUE 1				ALUE 1			
Pinta	Alue	Tilavuus		Pinta	Alue	Tilavuus	
Louhinta	1251	3112		Louhinta	1229	3046	
Neliölouhinta	944	459		Neliölouhinta	972	472	
Täyttö	376	237		Täyttö	370	155	
Kanaalin louhinta	42	61		Kanaalin louhinta	94	159	
Kanaalin neliöt	165	71		Kanaalin neliöt	160	71	
Kanaalin täyttö	227	179		Kanaalin täyttö	254	231	
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>4282</b>			<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>4337</b>		<b>55 m³/m²</b>
ALUE 2				ALUE 2			
Pinta	Alue	Tilavuus		Pinta	Alue	Tilavuus	
Louhinta	1387	2536		Louhinta	1385	2535	
Neliölouhinta	1030	494		Neliölouhinta	1036	495	
Täyttö	690	236		Täyttö	691	237	
Kanaalin louhinta	12	13		Kanaalin louhinta	30	39	
Kanaalin neliöt	410	214		Kanaalin neliöt	444	254	
Kanaalin täyttö	446	243		Kanaalin täyttö	475	292	
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>3989</b>			<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>4054</b>		<b>65 m³/m²</b>
							<b>120</b>

Tuloksen suurenemisen selvitys on esitetty luvussa 6.5.6.

#### 6.5.5 Alkuperäisen laskennan vertailu arvioihin

Louhintakartassa on arvioitu alueen 1 louhinnan määräksi yhteensä 4 731 m³/m². Mitattujen kalliopintojen pohjalta laskettu korjattu tulos on 4 258 m³/m². Arvion ja laskennan ero selittyy sillä, että alueen 1 osalta louhintakartassa oli esitetty louhittavaksi enemmän alueita kuin niitä todellisuudessa oli. Louhintakartan alueet ja toteutunut louhinta ilmenevät liitteistä 1 ja 2.

Louhintakartan arvio alueen 2 louhinnasta on 4 076 m³/m². Toteutunut louhinta alueella on yhteensä 3 989 m³/m². Alueen 2 osalta louhintakartta piti lähes kokonaisuudessa paikkansa, jolloin ero syntyy siitä, että mitattujen kalliopintojen pohjalta luotu maastomalli on tarkempi, jolloin tilavuus hieman muuttuu arvioituista määristä.

#### 6.5.6 Selvitys minimipinta-toiminnon ja alueen rajauksen laskentaeroista

Luvun 6.5.4 yhdistä mallit -menetelmällä laskennan tulos erosi selvästi muiden laskentatapojen antamista tuloksista. Tätä lähdettiin selvittämään suoraan 3D-Systems Oy:ltä lähettämällä heille sähköpostia ja viestin liitteenä taulukoissa ilmenevät tulokset.

Suoraa vastausta ei osattu antaa, koska laskenta-aineistoja ei lähetetty, joten seuraavaksi myös pintamallit lähetettiin 3D-Systems Oy:lle. Lopulta tuli vastaus, jossa kerrottiin, että asiassa on ”jotain outoa”. Ruutumassat, minimipintamalli ja poikkileikkausmenetelmällä myös 3D-Systems oli saanut lähes samat tulokset, mutta selitystä tuolle rajaustiedoston toimimattomuudelle ja virheelliselle tulokselle ei saatu.

Maaliskuun aikana käydyissä sähköpostikeskusteluissa 3D-Systemsin Markku Salorannan kanssa taulukossa 5 yhdistä mallit -menetelmän antamat suuremmat tilavuudet selvisivät. Normaalilouhinnan taso sekä kanaalien pintamalli on laadittu louhintakartan mukaan, jolloin se ulottuu mitattujen kalliopisteiden muodostaman alueen ulkopuolelle. Tällöin ohjelma laskee tilavuudet normaalilouhinnasta kanaaliin myös mitatun alueen ulkopuolella, jolloin tulos siis suurenee. Osittain ohjelman antama suurempi tulos johtuu myös siitä, että muutamilla alueilla mitattu kalliopinta jää normaalilouhinnan tason ja kanaalin pohjan väliin, jolloin ohjelma laskee kanaalin louhinnan normaalilouhinnan tasosta asti, vaikka louhintaa on todellisuudessa mitatusta kalliopinnasta kanaalin pohjalle ja tämän seurauksena myös ohjelman ilmoittamat tilavuudet kasvavat. Taulukosta 5 ilmenevä laskentamenetelmä on käyttökelpoinen vain siinä tapauksessa, että normaalilouhinnan taso sekä kanaalilouhinnan taso jäävät kokonaisuudessaan mitatun kallionpinnan alapuolelle eivätkä myöskään ulotu mitatun kallionpinnan reunojen ulkopuolelle. [10]

Poikkileikkausmenetelmien osalta epäselvyyttä aiheutti myös se, että 3D-Win-ohjelmiston version 5 antama tulos poikkesi version 6 antamasta tuloksesta. Versiolla 5 laskettaessa tulos koko alueelta oli  $160 \text{ m}^3/\text{m}^2$  pienempi kuin alkuperäisen laskennan kokonaismäärä. 3D-Systems Oy:n Markku Salorannan kanssa käydyssä sähköpostikeskustelussa selvisi, että version 5 poikkileikkausmenetelmässä normaalilouhinnan pintamallin käsittely oli mennyt väärin kolmella paaluluvulla, jolloin näiden osalta tilavuudet olivat jääneet pois ja tulos pienentynyt. Versio 6 on uudempi ja päivitetty versio, jossa tätä ongelmaa ei enää ilmennyt. 3D-Systems Oy suosittelee, että laskennat tehtäisiin aina vähintään kahdella menetelmällä, jolloin voidaan mahdolliset virheet huomata ja poistaa sekä ilmoittaa niistä 3D-Systems Oy:lle asian korjaamiseksi. [10]

### 6.5.7 Laskennan oikeellisuus

Minimipinta-, poikkileikkaus- ja ruutumassat-menetelmä antoivat korjatuilla pintamalleilla hyvin lähellä toisiaan olevat tulokset, jolloin laskennan osalta tulosta voidaan pitää luotettavana.

Kokonaisuutena alkuperäinen louhintalaskelma on onnistunut hyvin, mutta erityistä tarkkuutta pitää kiinnittää aineistoihin, erityisesti niitä tarkastettaessa, ettei aineistoihin jää virheellisiä pisteitä tai pisteiden korkeuksia. Määrien eroja arvioituihin selittää myös se, että erityisesti alueella 1 oli louhintakartassa esitetty alueita, joilla todellisuudessa kalliopinta oli suunniteltua louhintatasoa alempana, jolloin kyseessä olevalta alueelta ei louhintoja tullut.

Kokonaisuudessaan myös louhintojen merkintä työmaalla sujui hyvin, eikä jälkeempään louhittavia kalliopintoja jäänyt.

Kokonaisuutena alkuperäiseen tilaajalle lähetettyyn laskelmaan eroa tuli laskentatavan valinnasta riippuen 11–39 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> vähemmän. Louhintojen kokonaismäärään nähden alkuperäinen suurempi tulos on hyvin pieni, alle prosentti.

Tilaajan kanta tähän korjattuun tulokseen on kysytty 28.3.2014 käydyssä puhelinkeskustelussa työmaan maanrakentajan vastaavana mestarina toimivalta Simo Karjalaiselta. Hänen mielipide asiaan oli, että pieni virhemarginaali laskennassa on täysin hyväksyttävää.

## 7 Lähtöpisteiden luotettavuuden arviointi

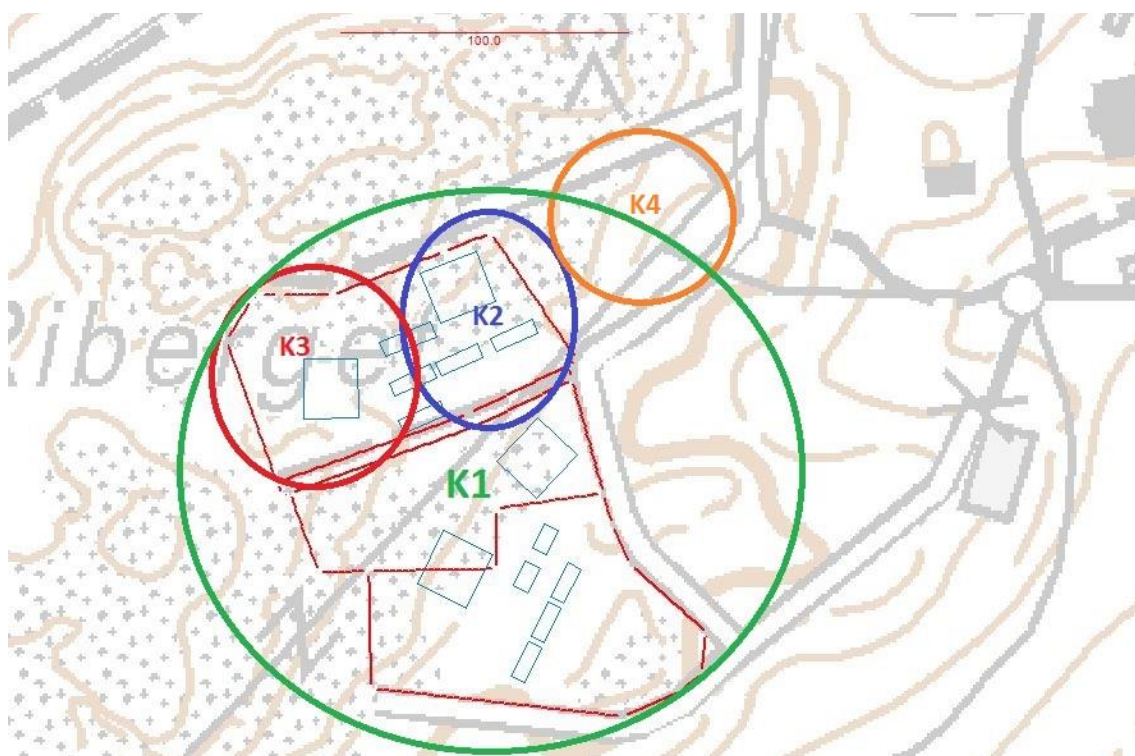
### 7.1 Sisäinen ja ulkoinen luotettavuus

Sisäisellä luotettavuudella tarkoitetaan mittausten luotettavuutta mitattavassa kohteessa. Toisin sanoen mittausten sisäinen luotettavuus rakennusten A ja B osalta on hyvä, koska koordinaatistot on määritelty Kirkkonummen kunnan tuomien nurkkapisteiden mukaan.

Ulkoisella luotettavuudella tarkoitetaan, miten hyvin mitatut pisteet sopivat alueen yleiseen koordinaatistoon. Mittauksien ulkoista luotettavuutta ei tässä yhteydessä tarkastella, koska nurkkapisteiden sopivuutta alueella yleisesti käytössä olevaan koordinaatistoon ei ole selvitetty.

## 7.2 Vertailtavat koordinaatistot

Lähtötietojen oikeellisuutta työssä arvioidaan koordinaattierojen sekä pohjoissuunnan kiertymisen eroina. Keskenään vertailtavat koordinaatistot on esitetty kuvassa 9. Koordinaatistot ovat: työmaan alkuperäinen, rajapyykeistä kiinni sidottu koordinaatisto, A- ja B-talon Kirkkonummen kunnan tuomista nurkkapisteistä sidottu koordinaatisto sekä viereisen työmaan Kirkkonummen kunnan tuomista nurkkapisteistä sidottu koordinaatisto, jonka pisteiden tiedot saatiin toisen yrityksen mittamieheltä.



Kuva 9. Esimerkkityömaan vertailtavat koordinaatistot

### 7.3 Vertailu

Kaikkien koordinaatistojen pisteet ovat tarrapisteitä ja sijaitsevat pääosin puissa ja valopylväissä. Tämän vuoksi vertailtavien pisteiden välimatkoissa syntyy pieniä eroja, koska puut ja valopylväät pääsevät liikkumaan jonkin verran. Takymetrin mittaustarkkuus, sää ja pisteiden sijainti vaikuttavat myös pisteiden mittaukseen ja pisteiden välille syntyviin eroihin, mutta tämän vaikutus on vain muutamia millimetrejä.

#### 7.3.1 Rajapyykkien kiinnioton koordinaatisto

Alkuperäisen koordinaatiston K1 pisteet on mitattu työmaalle kahdella työmaakäynnillä 20.5.2014 ja 3.6.2014. Koordinaatiston pisteitä on käytetty vain loughinnan merkitsemiseen, ja eroa B-talon nurkista kiinni mitattuun koordinaatistoon K3 syntyy alle 10 senttimetriä, mikä on riittävä tarkkuus loughintojen merkitsemiseen. Pohjoissuunnan kiertymä näiden koordinaatistojen välillä on myös vain 0,0646 goonia, joka on noin 0,05 astetta (taulukko 6).

Taulukko 6. Rajapyykeistä kiinniotettu koordinaatisto K1 verrattuna koordinaatistoon K3

K1	Rajapyykkien kiinniotto							
	VERTAILU							
	K1 -> K3							
		Suunta (gon)	Vaaka etäisyys (m)			T5K	6670878.907	25477818.801 21.955
	T5K - T10	12.0175	147.087			T10	6671023.381	25477846.402 28.000
	--> K3:een	0,0646	-0,009					
	Koordinaattierot	X	Y	H		X	Mitattu piste, verrattuna alkuperäiseen	
	T5K	-0,007	-0,088	0,009		Y	Mitattu piste, verrattuna alkuperäiseen	
	T10	-0,044	0,057	0,001		H	Mitattu piste, verrattuna alkuperäiseen	

Ero on niin pieni, että sillä ei ole vaikutusta mittauksiin työmaalla, koska etäisyydet ovat lyhyitä.

#### 7.3.2 A-talon koordinaatisto

Koordinaatisto K2 on mitattu työmaalle 9.7.2014. Koordinaatisto on määritetty Kirkkonummen kunnan tuomista A-talon nurkkapisteistä ja korkeus on määritetty alkuperäisen koordinaatiston K1 tarrapisteestä T10.



Koordinaatiston K2 piste TA4 sijaitsee valopylväässä. Piste TA4 todettiin liikkuneen, joten pisteelle on mitattu uudet arvot. Taulukossa 7 on esitetty pisteen TA4 alkuperäisillä arvoilla syntyvät erot sekä uusilla arvoilla mitatut syntyvät erot.

Taulukko 7. A-talon nurkista kiinniotetun koordinaatiston pisteitä

K2	A-talo									
	VERTAILU									
	K2 -> K4				--> K4					
		Suunta (gon)	Vaaka etäisyys (m)		Suunta	Etäisyys	TA1	6671071.189	25477813.335	32.838
	TA1 - TA4	166.3226	125.126		-0.0293	-0.050	TA2	6671041.245	25477754.841	37.326
	TA2 - TA4	136.3282	144.544		-0.0368	-0.047	TA3	6671035.047	25477785.788	35.496
	TA2 - TA4OK	136.3174	144.509		-0.0260	-0.012				
	TA1 - TA4OK	166.3198	125.083		-0.0265	-0.007	TA4	6670963.166	25477876.483	24.631
	UKH_T1 - UKH_T3	206.6898	88.864		-0.0297	0.003	2002	6671054.989	25477928.033	21.834
	Koordinaattierot	X	Y	H			UKH_T1	6671102.002	25477899.596	24.184
	TA1	-0.035	-0.039	0.008			UKH_T2	6671070.788	25477902.383	24.583
	TA2	-0.058	-0.020	0.008			UKH_T3	6671013.628	25477890.275	23.739
	TA4	0.038	-0.015	0.006			UKH_T4	6671012.346	25477875.845	24.424
	TA4OK	-0.002	0.002	0.007			TA4OK	6670963.206	25477876.466	24.630
	UKH_T1	0.009	-0.062	0.010						
	UKH_T3	0.002	-0.021	0.009						

A-talon nurkista mitatun koordinaatiston sekä viereisen työmaan koordinaatiston pohjoissuunnassa ei ole eroa kuin asteen murto-osia. Sijainnissa eroa koordinaatistojen välillä syntyy 2–7 senttimetriä. Tämä ero on melko suuri, mutta kuitenkin vielä riittävä merkintämittauksiin. Viereisen työmaan koordinaatisto ei myöskään ole itse mitattu vaan tiedot on saatu toisen yrityksen mittamieheltä, joten virhettä voi olla syntynyt myös nurkkia kiinni mitatessa, koska esimerkkityömaan koordinaatistot ovat hyvin lähellä toisiaan.

### 7.3.3 B-talon koordinaatisto

Koordinaatisto K3 on mitattu työmaalle 17.7.2014. Koordinaatisto on määritetty Kirkkonummen kunnan tuomista B-talon nurkkapisteistä ja korkeus on määritetty alkupe-  
räisen koordinaatiston K1 tarrapisteestä T10.

Verratessa koordinaatistoa K3 koordinaatistoon K2 huomataan pisteen TA4 liikkuneen. Pisteelle ei ole kuitenkaan saatu mitattua uusia arvoja, koska se on jäänyt piiloon.

Esimerkkityömaan A- ja B-talon koordinaatistojen välille eroa syntyy noin 2 senttimetriä, ja pohjoissuunta on koordinaatistoilla lähes sama. Tämän mittauksen perusteella voidaan esimerkkityömaan koordinaatistoja pitää keskenään hyvinä ja täysin riittävinä merkintämittauksiin, koska molemmat näistä koordinaatistoista on itse mitattu.



Tilavuuden määrittäminen vie aikaa ja siinä täytyy käyttää erityistä tarkkuutta aineistoja käsiteltäessä, jotta tehtyihin pintamalleihin ei jää virheitä, jotka vääristävät tulosta. Epävarmuustekijän tilavuuden määrittämiseen aiheuttaa myös käytettävä ohjelma ja sen laskenta menetelmät. Saatua tulosta täytyy jollain tavalla varmentaa, että voidaan varmistua tuloksen oikeellisuudesta. 3D-Winin osalta tämä varmistus voidaan tehdä käyttämällä eri laskentatapaa, ja saatujen tulosten täytyy olla samaa luokkaa laskentamenetelmästä riippuen. Laskentamenetelmästä riippuen pieniä eroja syntyy ohjelman tekemistä pyöristyksistä johtuen.

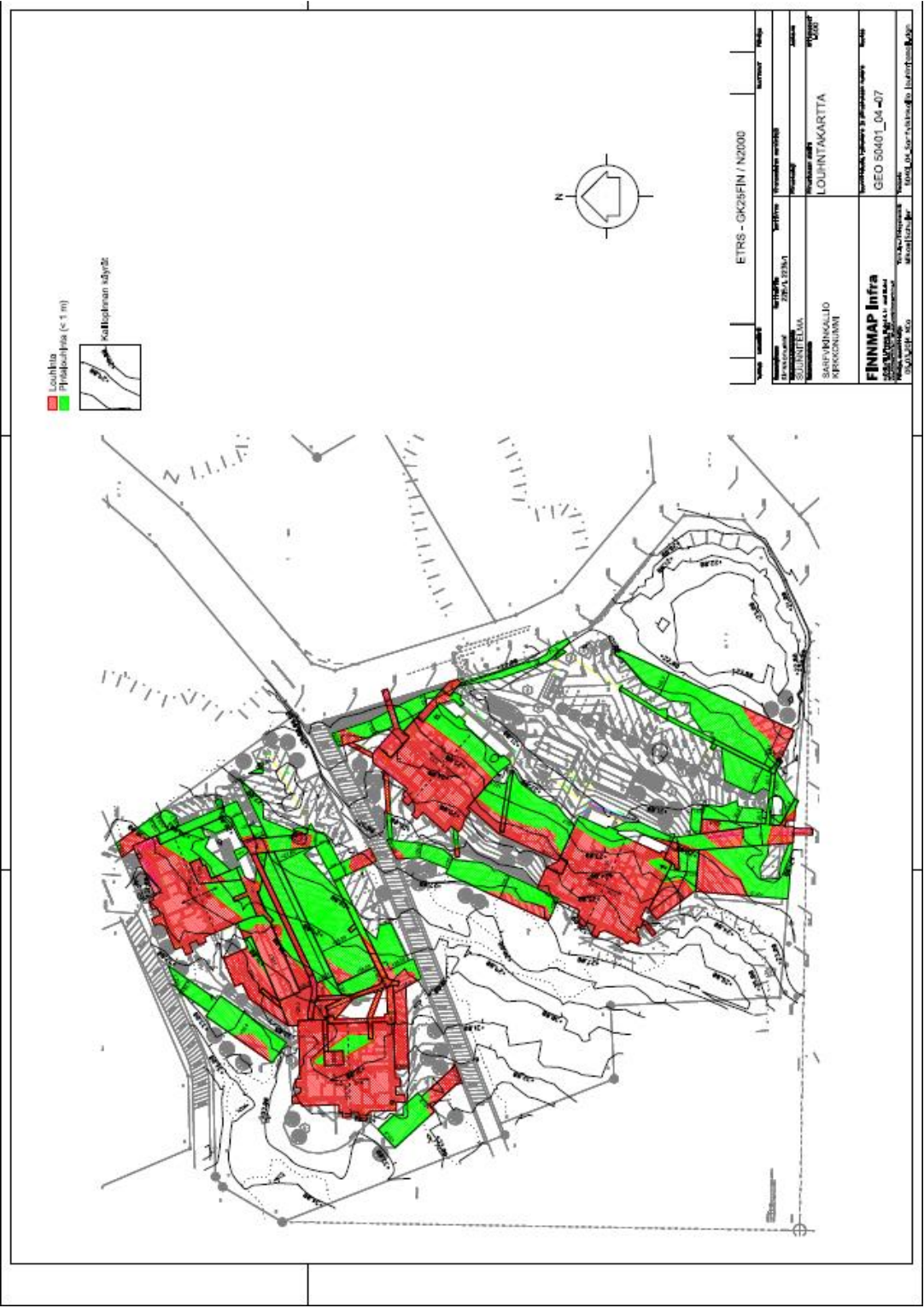
Esimerkkityömaan osalta alkuperäinen tilavuuden määrittäminen oli hieman suurempi malleihin jääneistä virheellisistä pisteistä johtuen, mutta tilaaja hyväksyi tämän pienen virhemarginaalin laskennassa.

Lähtöpisteiden osalta esimerkkityömaan kunnan nurkkapisteistä kiinnimitatut koordinaatit ovat keskenään merkintämittauksia varten riittävän tarkat. Apupisteitä tehdessä erityistä tarkkuutta pitää kiinnittää pisteiden alustaan, etteivät ne pääse liikkumaan. Myös rajapyykeistä kiinnimitattu alkuperäinen koordinaatisto riitti hyvin louhinnan merkintämittauksia varten, mutta rajapyykkien käyttö koordinaatistoa tehdessä on epävarmaa.

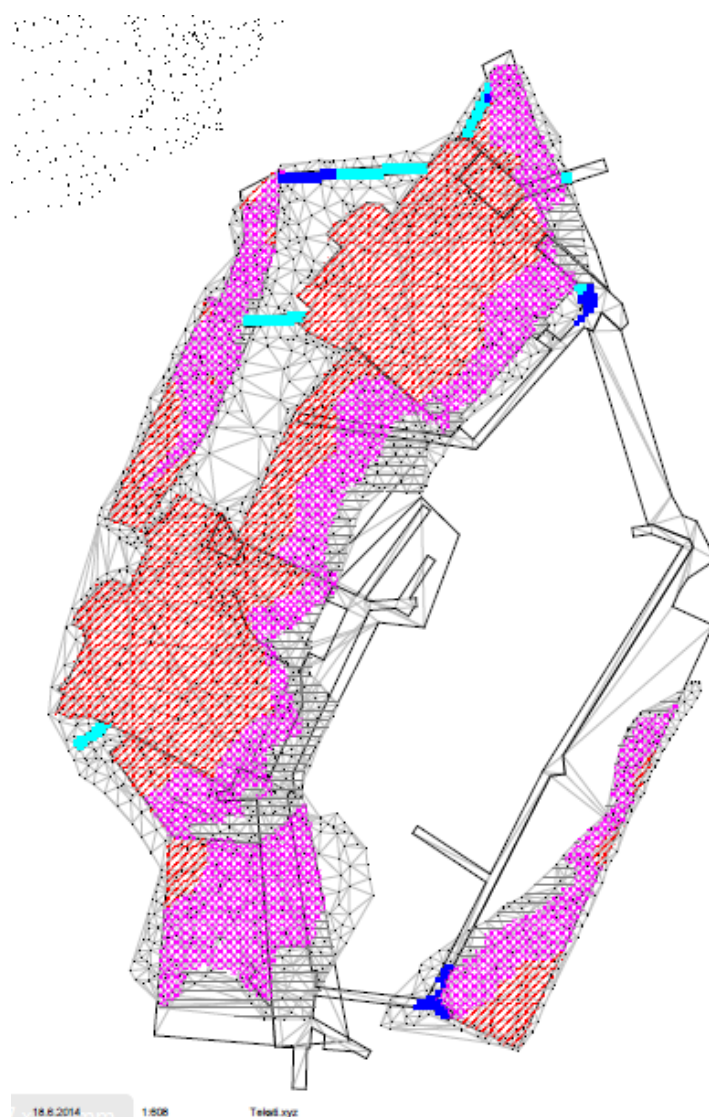
## Lähteet

- 1 Rakennusosa- ja hankenimikkeistö: määrämittaushje. Rakennustieto Oy, Infra RYL 2006.
- 2 Kaavoitusmittausohjeet. 2003. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. [http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavoitusmittausohjeet\\_2003\\_0.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavoitusmittausohjeet_2003_0.pdf). Luettu 28.01.2015.
- 3 GPS-mittaus. 2015. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/kartoitus/gps-mittaus>. Luettu 28.01.2015.
- 4 Trimble. <http://shop.geotrim.fi>. Luettu 03.02.2014.
- 5 3D-Win maastomalliohje. 3D-System Oy.
- 6 Laurila, Pasi. 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Julkaisusarja D 3. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- 7 Luonnon helmassa. 2015. Verkkodokumentti, Sarfvik. <http://www.sarfvik.info/index.php?page=ajankohtaista>. Luettu 11.03.2015
- 8 Kartat ja reitit. Fonecta. <https://www.fonecta.fi/kartat>. Luettu 11.03.2015
- 9 Jääskeläinen, Raimo. 2009. Pohjarakennuksen perusteet. 2. painos.
- 10 Saloranta Markku. 3.3.2015–28.3.2015. 3D-Systems Oy, Sähköpostikeskustelut.
- 11 Mittauspalvelu Tapio Saarenpää Oy. Verkkodokumentti. [www.mitsaa.fi](http://www.mitsaa.fi). Luettu 03/2015.
- 12 Pohjarakennus Jussinmäki Oy. Verkkodokumentti. [www.pohjaraennus.fi](http://www.pohjaraennus.fi). Luettu 03/2015.
- 13 SRV Oy. Verkkodokumentti. [www.srv.fi](http://www.srv.fi). Luettu 03/2015.

Sarfvikinkallion louhintamalli



## Alkuperäinen laskenta alueelta 1



Yhteensä	Alue	Tilavuus	Koodi
Pinta	1251	3112	2
Louhinta	944	459	2.1
Neilolouhinta	42	61	KA:2
Kansain louhinta	165	71	KA:2.1

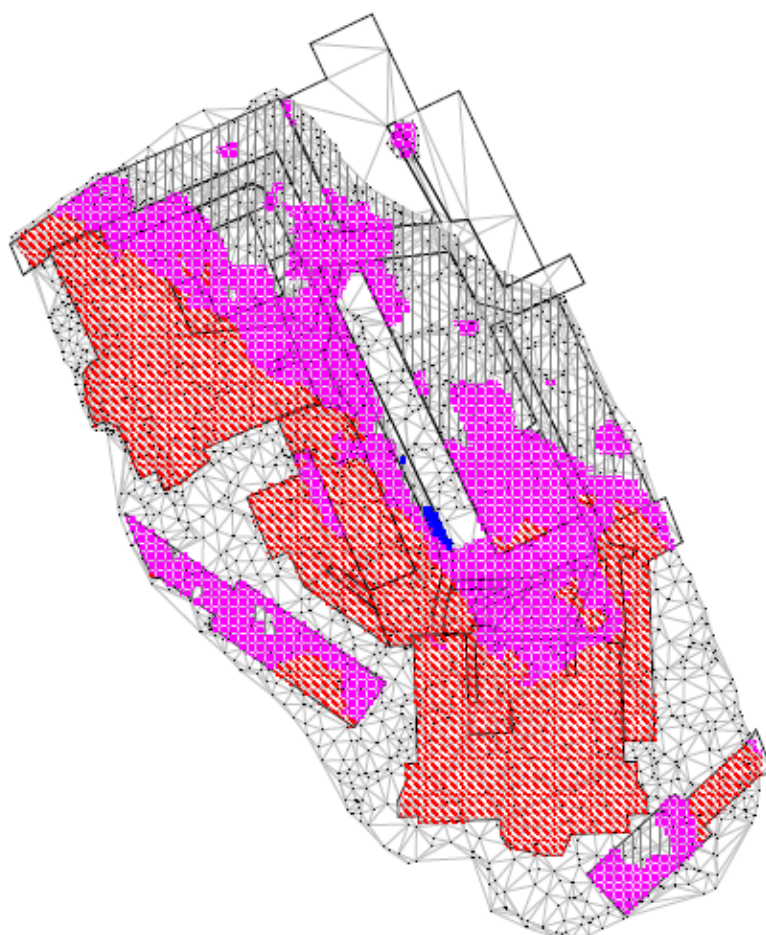
18.6.2014

1:500

Tietoliikenne



# Alkuperäinen laskenta alueelta 2



Yhteensä	Alue	Tilavuus	Koodi
Pinta	1387	2536	2
Louhinta	1030	494	2.1
Kansain louhinta	12	13	KAC
Kansain mietot	410	214	KAC.1